

Cobre Panamá

Informe Semestral de Restauración Ecológica en el Proyecto Mina de Cobre Panamá

Periodo de abril a septiembre de 2023

Fecha de Emisión	Revisión	Descripción	Elaborado por:		Revisado y Aprobado por:	
28/10/2023	1	Informe Técnico	Christel Ramos **Botánico de Medio Ambiente**		Blanca Araúz **Superintendente de Medio Ambiente**	

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN 4
2. OBJETIVOS 5
3. MATERIALES Y MÉTODOS 5
3.1. Establecimiento de parcelas de restauración ecológica 5
3.1.1 Parcela Pipeline Road Km 4 + 100 (Código B-PRE-040) 5
3.2. Monitoreo de parcelas de restauración ecológica 7
3.2.1 Parcela Pipeline Road Km 4 + 100 (Código B-PRE-040) 7
3.3. Mantenimiento de parcelas de restauración ecológica 7
3.4 Ensayos de restauración ecológica 7
3.4.1 Aplicación de fertilizantes en especies arbóreas nativas (Código B-PRE-037).... 8
3.4.2 Ensayo con capa orgánica en DARE Sur, Tajo Botija (B-PRE-042) 9
3.5. Registro de la Información y Análisis de datos 10
4. RESULTADOS 11
4.1 Monitoreo de parcelas en restauración 11
4.1.1 Parcela Pipeline Road (camino de tuberías) Km 4 + 100 (Código B-PRE-040)....11
4.1.2 Sobrevivencia y desempeño de especies nativas en la parcela de restauración Pipeline Road Km 4+100 (Código B-PRE-040) 13
4.2. Ensayos de restauración 14
4.2.1 Ensayos utilizando fertilizantes 14
4.2.2 Ensayo de capa orgánica en parcela del Tajo Botija, DARE Sur (B-PRE-042)....17
5. CONCLUSIONES 20
6. BIBLIOGRAFÍA 21
7. ANEXOS 23

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de disposición de siembra de plantones. A. Disposición de siembra de plantones siguiendo una línea de siembra vertical. B. Disposición de siembra de plantones aplicada en la parcela. 6

Figura 2. Esquema de cuadrante de capa orgánica de 3x9 metros. 9

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Proporciones de fertilizantes utilizados por tratamiento y aplicación en la parcela. 8

Tabla 2. Evaluación anual de especies nativas resembradas en el 2021 en la parcela Pipeline Km 4+100 14

Tabla 3. Cantidad de especies e individuos de plantas registradas por sustrato y por forma de crecimiento en los monitoreos realizados...18

1. INTRODUCCIÓN

La restauración ecológica es una actividad deliberada que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema con respecto a su salud, integridad y sostenibilidad. Las intervenciones que se emplean en la restauración varían mucho de un proyecto a otro, dependiendo de la extensión y la duración de las perturbaciones pasadas, de las condiciones culturales que han transformado el paisaje y de las oportunidades y limitaciones actuales. La meta final del proceso es garantizar que las funciones y los procesos ecológicos sean similares al ecosistema original a través del tiempo (SER, 2004).

El éxito de la restauración de un bosque tropical se mide en la recuperación de la biodiversidad, la biomasa y la productividad primaria, la materia orgánica del suelo, la capacidad de almacenamiento del agua y el regreso de las especies que son claves para reestablecer la estructura y las funciones del ecosistema (Elliott, Blakesley y Hardwick, 2013).

El proceso de restauración ecológica suele ser muy dinámico e involucra adquirir información necesaria para la toma de decisión y el mejoramiento de metodologías aplicadas. Por tal razón, es importante el establecimiento de parcelas experimentales para desarrollar modelos de restauración que nos permitan garantizar que las funciones y los procesos ecológicos sean similares al ecosistema original a través del tiempo; y de gran interés resulta dar seguimiento a los monitoreos de las especies plantadas en el sitio, que permitan evaluar su desarrollo y evolución en respuesta de las condiciones climáticas y la composición del suelo que se presentan en el lugar.

Minera Panamá S.A., tiene como parte de sus compromisos ambientales la restauración de áreas dentro de la huella del Proyecto, la cual será ejecutada gradualmente durante el período de vida activa de la mina, a medida que se culmine el trabajo del proyecto en áreas específicas.

2. OBJETIVOS

- Cumplir con los compromisos establecidos en el EsIA Cat III, que aseguren el éxito de la restauración del Proyecto Mina de Cobre Panamá.
- Implementar el monitoreo (mortalidad, crecimiento y otros indicadores de las especies) de las parcelas establecidas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Establecimiento de parcelas de restauración ecológica

3.1.1 Parcela Pipeline Road Km 4 + 100 (Código B-PRE-040)

Esta parcela de restauración se encuentra ubicada a orilla del Camino de Tuberías (Pipeline Road) en el Km 4+100, entre los 08°52´41.2” Norte y los 80°38´26.2” Oeste; la cual mide aproximadamente 2,347 m^2, con una inclinación del terreno aprox. de 20 grados. Esta comprende cuatro barreras de contención contra la erosión que van dispuestas paralelas a la calle, hasta la parte más baja próximo al bosque, en donde el terreno es más plano.

El suelo de la parcela está compuesto mayormente por material arcilloso de color rojo y la vegetación que bordea esta parcela está compuesta mayormente por especies pioneras (de rápido crecimiento), tales como *Cecropia* sp. (Guarumo), *Ochroma pyramidale* (Balso), *Piper auritum*, *Vismia macrophylla* (Pinta moso) y *Solanum* sp., además de especies de sombra como *Inga* sp., *Psychotria allenii*, *Aphelandra* sp. y *Ardisia* sp., helechos como *Alsophyla* sp., palmas como la *Socratea exorrhiza* (Jira) y *Astrocaryum alatum*, *Heliconia* sp. y *Calathea nodosa*, además de plantas cultivadas de *Musa* sp. (esta especie fue cultivada anteriormente por una comunidad establecida antes de iniciadas las actividades del proyecto minero).

El terreno fue estabilizado con barreras de contención sembrado con la hierba *Brachiaria decumbens* por parte del área de Servicios Ambientales, del departamento de Ambiente, como primera medida de mitigación para evitar la erosión del terreno. Dos semanas después de la hidrosiembra, fueron tomadas medidas de pH en 10 puntos diferentes del área, para determinar el grado de acidez del suelo y así evaluar la aplicación de cal (Hidróxido y Carbonato de Calcio). Posteriormente fue aplicada la cal. El pH inicial promedio fue de 6.17 con un rango de 4.4 a 6.8.

El pH final promedio fue de 6.66 y osciló de 5.8 a 7.1. La cal tiene la función de elevar el pH del suelo para que las plantas pueda absorber con más facilidad los nutrientes a través de las raíces.

La siembra fue realizada siguiendo una distribución en línea recta paralela a la carretera (Figura 01), con las plantas distribuidas al azar en cada línea e intercaladas entre líneas, de manera que fueron mezcladas diferentes especies de árboles, arbustos, helechos, palmas y diferentes hierbas. La distancia de siembra entre cada planta fue de 1.5 metros. Para la siembra inicial fueron utilizadas plantas provenientes del vivero de Restauración (en Valle Grande) y también plantas extraídas directamente de la vegetación circundante a la parcela. Estas plantas se colectaron de la vegetación con la mayor cantidad de sustrato posible para reducir el estrés a la planta. Posteriormente, se han ido sembrando plantones provenientes del vivero, utilizando sustrato de compost de tierra negra y de gallinaza. Las especies sembradas son plantas pioneras, pero también se incluyó especies de sombra, que han resultado tener buen rendimiento en la rehabilitación de parcelas dentro del sitio mina. Además, de que la mayoría son especies que se encuentran en la vegetación que bordea dicha parcela.

La parcela recibe mantenimiento periódico de 3 a 4 meses, donde es removida la hierba alrededor de la planta y son fertilizadas, utilizando el abono completo 12-24-12 (NPK), con sustrato estimulantes de micorrizas (micorrizol), abono foliar y fertilizante orgánico a base de bacterias (Bio Bacter).

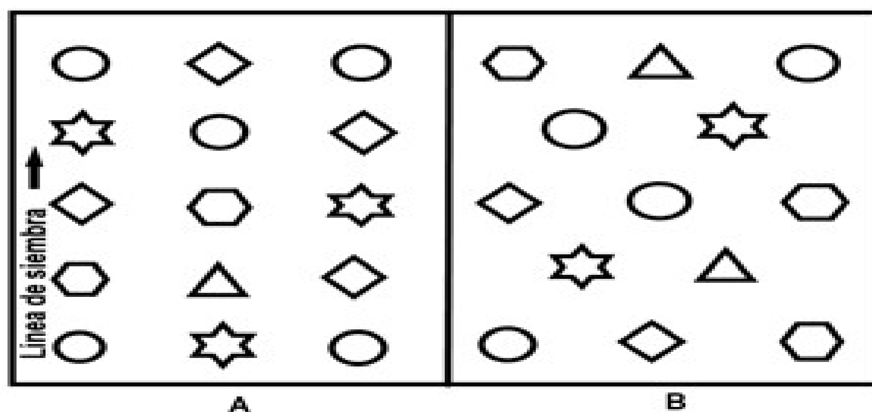


Figura 1. Diagrama de disposición de siembra de plantones. A. Disposición de siembra de plantones siguiendo una línea de siembra vertical. B. Disposición de siembra de plantones aplicada en la parcela.

3.2. Monitoreo de parcelas de restauración ecológica

Durante el periodo de abril a septiembre de 2023 se realizaron (2) monitoreos en la parcela de restauración de seguimiento anual Pipeline Road del Km 4+100 (B-PRE-040).

3.2.1 Parcela Pipeline Road Km 4 + 100 (Código B-PRE-040)

Dentro de la parcela se encuentran establecidos dos cuadrantes de muestreo de 20x20 metros (1,600 m^2), cada uno de los cuales están subdivididos en 16 subcuadrantes de 5x5 metros. Desde que se realizó el levantamiento de la información en el 2021 de las plantas sembradas en la parcela (mapeo y medida de la altura, diámetro de cuello de raíz y ancho de copa), con el fin de dar seguimiento al proceso de rehabilitación en el área y evaluar el crecimiento y sobrevivencia de las mismas, además se ha registrado plantas de regeneración natural provenientes de la vegetación circundante.

3.3. Mantenimiento de parcelas de restauración ecológica

Durante el periodo de abril a septiembre de 2023, a la parcela de restauración Km 4+100 se les realizó mantenimiento.

Las plantas que resultaron muertas en la parcela que provenían del vivero, para este monitoreo, fueron reemplazadas con plantones del vivero de la misma especie, de igual forma, las que resultaron muertas que provenían de la vegetación, también fueron reemplazadas con plantas de la misma especie que nuevamente fueron extraídas de la vegetación circundante.

Las plantas fueron sembradas utilizando compostaje a base de suelo, cascarilla de arroz, tierra negra y micorrizol en una proporción de 2:1:1:0.2 (saprolita: cascarilla de arroz: tierra negra: micorrizol).

3.4 Ensayos de restauración ecológica

Hasta la actualidad se han desarrollado diversas técnicas y estrategias con el fin de restablecer características específicas o generales de patrones o procesos de ecosistemas afectados que logren la recuperación de los mismos (Castelli et al., 2015). Durante este periodo se realizó el

monitoreo de dos (2) ensayos: uno donde se probaron diferentes tipos de fertilizantes para probar cual tiene una mejor efectividad en el desarrollo de los plantones

3.4.1 Aplicación de fertilizantes en especies arbóreas nativas (Código B-PRE-037)

Para este periodo, se realizó el tercer monitoreo de los ensayos con 4 tipos de fertilizantes aplicados en 5 especies nativas en la parcela en el Depósito de Almacenamiento de roca estéril (DARE) al Sur del (código B-PRE-37), ubicado entre los 08°49'43.3" Norte y los 80°38'47.4" Oeste y cuenta con una superficie total aproximada de 2,400 m^2 (0.24 ha). Este ensayo fue establecido en mayo de 2021.

Para los ensayos realizados, fueron seleccionadas cuatro (4) especies pioneras o heliófilas (de rápido crecimiento): *Bellucia pentamera*, *Isertia laevis*, *Muntingia calabura,* y una (1) especie de sombra (de bosque), *Inga thibaudiana*., que han presentado porcentajes altos de sobrevivencia en otras parcelas de rehabilitación; haciendo un total de 5 especies seleccionadas. Todas estas especies son producidas en el vivero de Valle Grande y las plantas provienen principalmente de colectas de plantones en campo.

Tabla 1. Proporciones de fertilizantes utilizados por tratamiento y aplicación en la parcela.

Tratamiento	Cantidad en libras		
	Suelo de aluvión	***Abono orgánico***	***Fertilizante aplicado a cada plantón en la siembra***
Compostaje de gallinaza	164	50	14
Compostaje de abono orgánico	------	14	14
Leonardita granulada	164	5	14
Pastilla fertilizante de liberación lenta	------	------	3 pastillas

En la prueba realizada se probaron cuatro (4) fertilizantes: a) compostaje a base de gallinaza, b) compostaje de abono orgánico (marca Aboquete), c) leonardita granulada y d) pastillas fertilizantes de liberación lenta (marca Agriform). El control consistió en suelo de saprolita (sin la aplicación de fertilizantes). Se establecieron cuadrantes de 5x10 m, con distanciamiento de siembra de 2 metros. Las plantas se sembraron en hoyos de 30 cm de ancho por 40 cm de

profundidad. Los fertilizantes fueron aplicados en el fondo del hoyo y alrededor de cada sistema radicular de los plantones según cantidades descritas (Tabla 1). Las pastillas fertilizantes fueron colocadas dentro del hoyo: 2 a cada lado de la base del plantón a 8 cm de distancia del sistema radicular y otra al fondo del mismo.

3.4.2 Ensayo con capa orgánica en DARE Sur, Tajo Botija (B-PRE-042)

El suelo cumple un papel fundamental en la rehabilitación, ya que de su calidad depende el restablecimiento de la vegetación La reincorporación de la capa de suelo procura ventajas para rehabilitar las áreas degradadas por la minería a cielo abierto, ya que es un sustrato con mejores condiciones de porosidad, capacidad de almacenamiento de agua y de disponibilidad de nutrimentos y propágulos, que facilita la actividad microbiológica y el desarrollo vegetal en comparación al manto de rocas o sedimentos que queda expuesto con la explotación minera. (Hernández-Valencia, 2011).

En una sección de la parcela B-PRE-042, también en el DARE Sur del Tajo Botija, se establecieron 2 cuadrantes de 3x9 m, subdivididos en 10 subcuadrantes de 1m^2, cada subcuadrante con una separación de 1 m (ver figura 3). Cada cuadrante consiste en 5 subcuadrantes con capa orgánica y 5 subcuadrantes de control. Los subcuadrantes se marcaron con tubos de PVC de 50 centímetros de alto. Para evitar que la escorrentía lavase la capa orgánica, se cercó cada subcuadrante de capa orgánica con sarán.

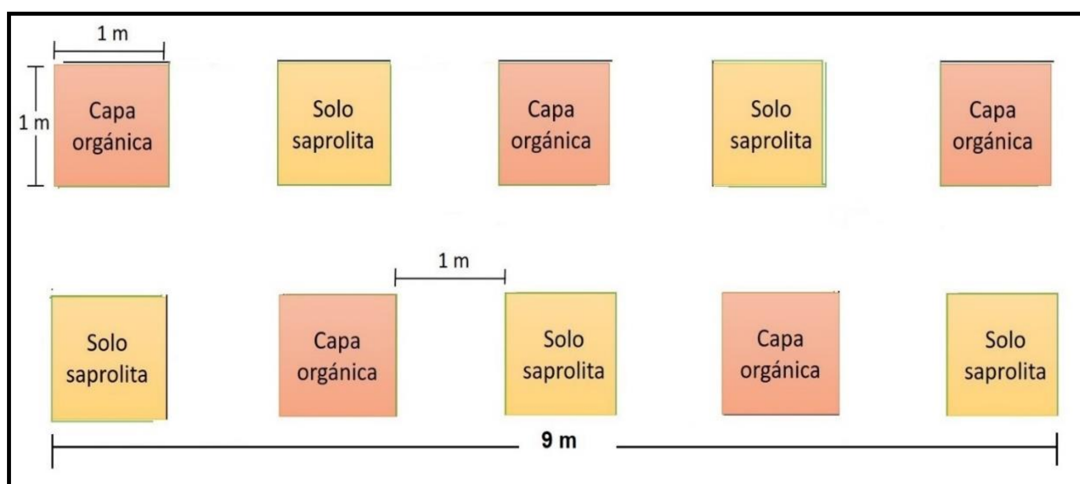


Figura 2. Esquema de cuadrante de capa orgánica de 3x9 metros.

En los subcuadrantes de 1x1 metros donde se colocó la capa orgánica, se retiraron 10 cm de saprolita. Posteriormente los subcuadrantes se rellenaron con materia orgánica de hojarasca y suelo proveniente del bosque adyacente a la parcela (Anexo 7.2).

Al cabo de dos (2) meses se realizó el primer monitoreo de los cuadrantes. Se tomaron datos sobre las plantas observadas. Los datos fueron registrados en formularios de campo. Se procuró en lo posible de identificar las plantas observadas con ayuda de literatura especializada y guías de campo (Garwood, 2009; STRI 2023). Se contabilizaron los individuos en todos los subcuadrantes. Se midieron aquellas plantas que alcanzaron o superaron los 10 centímetros de altura. Durante el periodo de abril a septiembre del presente año, se realizó el 2do y 3er monitoreo de este ensayo.

3.5. Registro de la Información y Análisis de datos

Se registró la mortalidad de plantones e información de crecimiento de las especies de plantas en las parcelas de restauración y de las parcelas experimentales en la base de datos para su posterior análisis. El análisis de la sobrevivencia y mortalidad de cada especie permite identificar especies aptas para las etapas tempranas de la restauración, como también aplicar técnicas enfocadas en mejorar su desarrollo desde la etapa de germinación y mantenimiento de plantones en el vivero, y posteriormente en las parcelas de restauración. Se calculó el porcentaje de supervivencia de las plantas en cada parcela monitoreada y por especie.

El desempeño de las especies sembradas en parcelas se evaluó tomando en cuenta los siguientes datos de supervivencia, crecimiento de diámetro de cuello de raíz (mm), crecimiento en altura (cm) y crecimiento en ancho de copa (cm). Para evaluar el desempeño de las especies de plantas seleccionadas para la siembra en parcelas de restauración, se clasificaron en tres categorías según Elliott, Blakesley y Hardwick (2013):

Categoría 1: las plantas que quedaron por debajo de la mayoría o de todos los estándares mínimos aceptables fueron consideradas como especies no aceptables. Estas especies no se descartarán del proyecto de restauración, pero se les dará un seguimiento más riguroso para lograr mejorar su rendimiento en las parcelas de restauración.

Categoría 2: las plantas que excedieron algunos de los estándares mínimos aceptables, pero quedaron por debajo de otros, o quedaron por debajo de varios estándares por un margen

pequeño, fueron consideradas como especies marginales. Estas especies se someterán a investigación para mejorar su rendimiento.

Categoría 3: Las plantas que excedieron en gran proporción a la mayoría de todos los estándares mínimos fueron consideradas como especies aceptables y, por ende; adecuadas para utilizar en futuras plantaciones.

Los estándares aceptables para las plantas fueron: tener una tasa de sobrevivencia de más del 50%, y que tanto la altura como el ancho de copa hayan excedido más del doble luego de 12 meses de haberse plantado.

Para evaluar el ensayo de capa orgánica, se registró y comparó la cantidad de especies e individuos observados en los subcuadrantes por monitoreo realizado.

4. RESULTADOS

4.1 Monitoreo de parcelas en restauración

4.1.1 Parcela Pipeline Road (camino de tuberías) Km 4 + 100 (Código B-PRE-040)

Para el monitoreo N°3, realizado a finales de mayo de 2023, se registró un total de 12 especies nativas (9 pioneras y 3 de sombra) y 94 plantas establecidas, con una sobrevivencia del 75%. Se realizó resiembra de 45 plantas. Las especies que presentaron mayor porcentaje de sobrevivencia fueron *Piper aduncum* (96%) e *Inga* sp. (60%). En el cuarto monitoreo realizado en septiembre de 2023, se registró un total de 122 plantas, con un porcentaje de supervivencia del 84%. El 93% de las plantas registradas en la parcela provienen del vivero de Valle Grande (Gráfico 1).

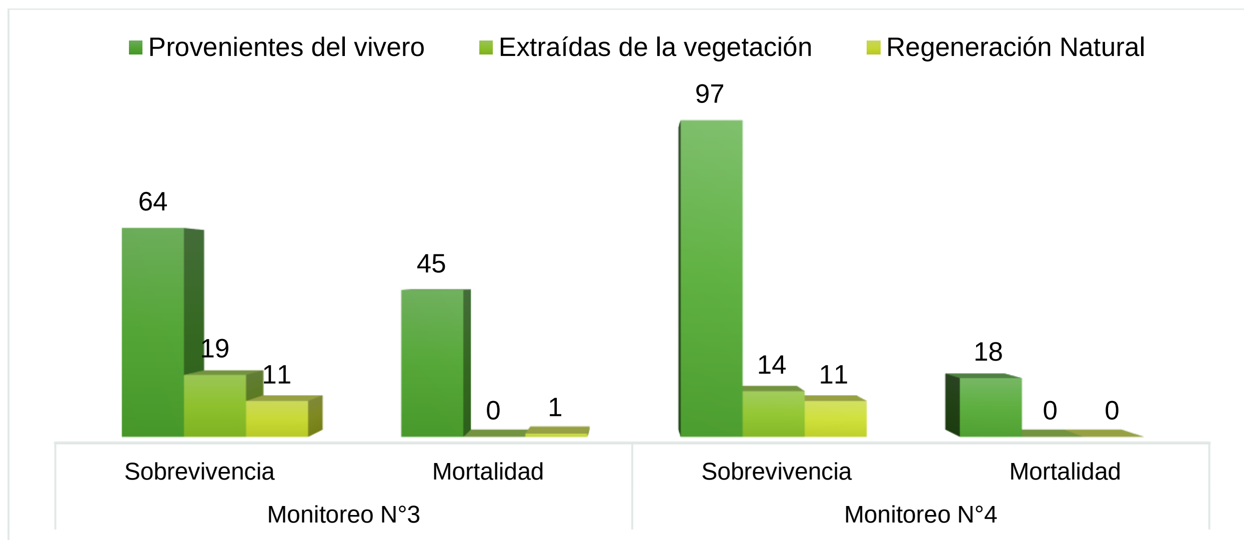


Gráfico 1. Sobrevivencia y mortalidad de individuos registrados en monitoreos realizados en parcela Pipeline Road Km 4+100 (B-PRE-040).

En cuanto a la sobrevivencia de las plantas, se obtuvo que el 46% fueron sembradas en el 2021, el 34% sembradas en 2023 y el 31% sembradas en 2022. El 11% de las plantas sobrevivientes son producto de la regeneración natural.

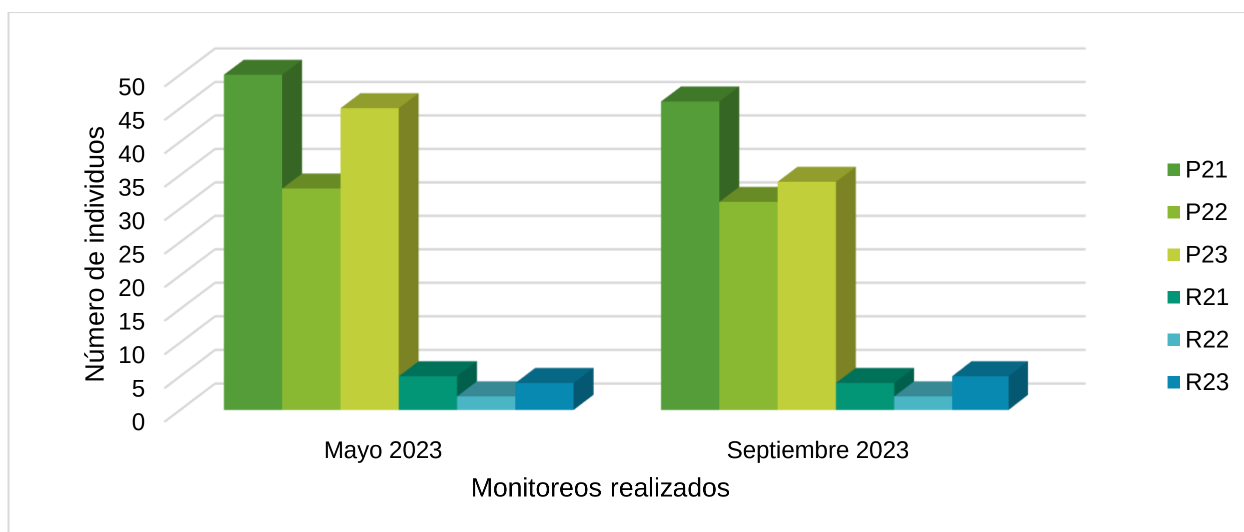


Gráfico 2. Número de individuos sobrevivientes contabilizados durante este periodo de monitoreo. En el gráfico se muestra el total de plantas contabilizadas por monitoreo realizado (P21=plantas sembradas en 2021, P22=plantas sembradas en 2022, P23=plantas sembradas en 2023. R21=plantas de regeneración registradas en 2021, R22=plantas de regeneración registradas en 2022, R23=plantas de regeneración registradas en 2023.

De las plantas sembradas en la parcela, se registraron dos (2) especies con mayor cantidad de individuos. El guabo (*Inga* sp.) registró 41% en el tercer monitoreo y en el cuarto monitoreo registró un 38%. El hinojo (*Piper aduncum*) registró un 32% en el 3er monitoreo y en el cuarto monitoreo un 34%.



Fotografía 01. loro cabeciazul (*Pionus menstruus*).



Fotografía 02. mosquero (*Empidonax* sp.).

En cuanto a la fauna observada, se identificaron cuatro (4) especies de aves dentro de la parcela y en sus alrededores el loro cabeciazul (*Pionus menstruus*) de hábito herbívoro (Fotografía 1), la tángara flamígera (*Ramphocelus flammigerus*) de hábitos frugívoro e insectívoro, el mosquero (*Empidonax* sp.) (Fotografía 2) de hábito insectívoro y el talingo (*Quiscalus mexicanus*) de hábito omnívoro.

Durante el tercer monitoreo se identificaron plantas que ya están en etapa de floración: *Piper auritum* y *Piper aduncum*. Para el cuarto monitoreo se registraron individuos de *Muntingia calabura*, en fructificación.

4.1.2 Sobrevivencia y desempeño de especies nativas en la parcela de restauración Pipeline Road Km 4+100 (Código B-PRE-040)

La evaluación determinó que las especies nativas *Inga* sp., *Piper aduncum* y *Ficus* sp. presentaron un buen crecimiento y un porcentaje de sobrevivencia altos, mientras que las especies *Bellucia pentamera, Isertia laevis* y *Vismia macrophylla* no presentaron resultados aceptables. Entre las especies que presentaron alta tasa de sobrevivencia en la parcela o un buen crecimiento fueron *Cecropia* sp., *Cespedesia spathulata*, *Piper auritum* y *Ochroma*

pyramidale, entre otras (Tabla 3). Estas especies serán evaluadas en el vivero con el objetivo de mejorar su rendimiento en las parcelas aplicando técnicas orientadas al mejoramiento de los sustratos y considerando las necesidades nutrimentales de las especies nativas, promover el estado fitosanitario de estas plantas en vivero; intensificar tanto en el vivero como en la parcela, las técnicas de desarraigue de malezas (Elliott, Blakesley y Hardwick 2013), entre otras.

Tabla 2. Evaluación anual de especies nativas resembradas en el 2021 en la parcela Pipeline Km 4+100

Especie	Tipo	% sobrevivencia	Altura total (cm)	Diámetro de cuello de raíz (mm)	Ancho de Copa (cm)	Categoría	Acción
Bellucia pentamera	Pionera	0	0	0	0	1	No aceptable
Carapa guianensis	Sombra	75	82.4	15.7	54.6	2	Investigar para mejorar el crecimiento
Cecropia sp.	Pionera	33	175.9	22.8	60.1	2	Investigar para mejorar el crecimiento
Cespedesia spathulata	Pionera	86	94.1	20.1	50.7	2	Investigar para mejorar el crecimiento
Ficus sp.	Sombra	100	185	35.6	69.2	3	Aceptable
Inga sp.	Sombra	73.9	119	20.2	112.6	3	Aceptable
Isertia laevis	Pionera	0	0	0	0	1	No aceptable
Muntingia calabura	Pionera	44	123.4	15.4	90.8	2	Investigar para mejorar el crecimiento
Ochroma pyramidale	Pionera	15	106.8	23.1	63.6	2	Investigar para mejorar el crecimiento
Piper aduncum	Pionera	100	127.7	24.1	99.1	3	Aceptable
Piper auritum	Pionera	100	62.5	16	51.8	2	Investigar para mejorar el crecimiento
Piper peltatum	Pionera	86	29.5	8	31.3	2	Investigar para mejorar el crecimiento
Tabebuia guayacan	Pionera	50	55.7	11.6	37.3	2	Investigar para mejorar el crecimiento
Terminalia amazonia	Sombra	100	49.7	5.1	43.7	2	Investigar para mejorar el crecimiento
Vismia macrophylla	Pionera	0	0	0	0	1	No aceptable

4.2. Ensayos de restauración

4.2.1 Ensayos utilizando fertilizantes

En este informe se presentan los resultados del crecimiento de las especies nativas bajo tratamiento de fertilizantes en comparación con el control, el cual fue realizado a finales de julio de 2023 en la parcela del Tajo Botija, DARE Sur (B-PRE-037)

En general las especies presentaron un incremento considerable de tamaño (altura, ancho de copa y diámetro de cuello de raíz) al aplicarles fertilizantes. Al comparar los resultados del crecimiento de las plantas a las que se le aplicaron fertilizantes con las plantas control, obtenemos que las plantas fertilizadas presentaron en promedio un incremento de altura en un 67%, en ancho de copa un 77 % y un 63% en diámetro de cuello de raíz (DCR). Las plantas control presentaron un crecimiento retardado. Sin embargo, no se puede determinar en qué grado es la reducción del crecimiento, ya que no se tienen datos de la tasa de crecimiento en condiciones naturales de todas las especies nativas seleccionadas en este ensayo.

Las especies que presentaron mayor crecimiento fueron *Muntingia calabura*, *Inga thibaudiana*, *Isertia laevis* y *Piper aduncum*. Hall y Ashton (2016) reportaron el crecimiento en altura de *Muntingia calabura* de 1.62 metros en un periodo de 2 años bajo condiciones de clima húmedo y suelo pobre en nutrientes, lo cual es comparable con la altura promedio obtenido en el ensayo con fertilizantes (Agregar valor obtenido). En Ecuador se reportó el crecimiento de *Piper aduncum* de 1.2 metros en 2 años (Terán et al., 2018). Sin embargo, debido a la escasa información sobre el crecimiento y la ecología de *Piper aduncum,* no es posible evaluar esta especie. Las especies de Inga son de crecimiento rápido y toleran una gran variedad de suelos (Pennington, 1997); lo que explica el buen desempeño de *Inga thibaudiana* en el ensayo. De las 5 especies ensayadas, la única especie que mostró una diferencia de crecimiento menos notoria fue *Bellucia pentamera*. Esto puede deberse a que esta especie crece en lugares alterados (Almeda, 2009) y en claros con intensidad de luz moderada (Solfiyeni et al., 2022); por lo tanto, esta especie podría presentar un desempeño pobre al estar expuesta a la luz solar directa.

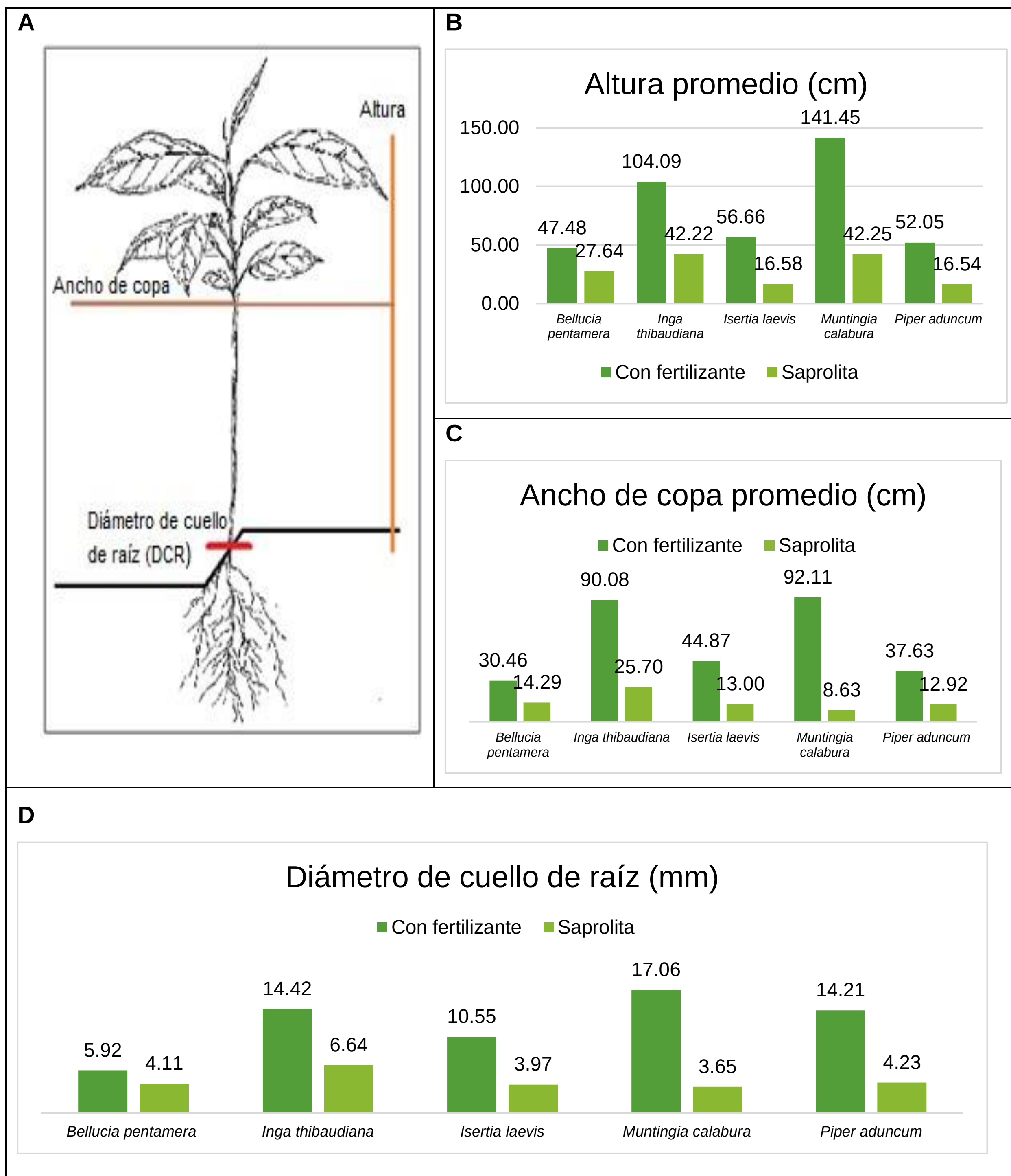


Gráfico 3. A) Diagrama de toma de medidas de plantones. B) Crecimiento promedio de altura (cm) en 5 especies nativas bajo la aplicación de fertilizantes en comparación con el control (saprolita sin fertilizantes). C) Crecimiento promedio de ancho de copa y D) Crecimiento promedio de diámetro de cuello de raíz (mm) de plantas monitoreados.

4.2.2 Ensayo de capa orgánica en parcela del Tajo Botija, DARE Sur (B-PRE-042)

En los cuadrantes establecidos se identificaron en total 57 especies diferentes y aproximadamente 800 individuos. No se pudo identificar a nivel de familia y/o género el 11 % de las especies de plantas registradas Por tipo de sustrato, se identificaron 53 especies en subcuadrantes de capa orgánica, y en los subcuadrantes de saprolita (control) se identificaron sólo 8 especies.

En el tercer monitoreo realizado en mayo de 2023, se registraron 44 especies en los subcuadrantes de capa orgánica. En el cuarto monitoreo realizado en septiembre de 2023, se registraron 47 especies. Sin embargo, se registró la ausencia de 13 especies registradas en el monitoreo anterior (principalmente en los subcuadrantes de capa orgánica). Esta reducción puede deberse a la mortalidad de especies de sombra que por su naturaleza ecológica no toleran la exposición a la luz solar directa.

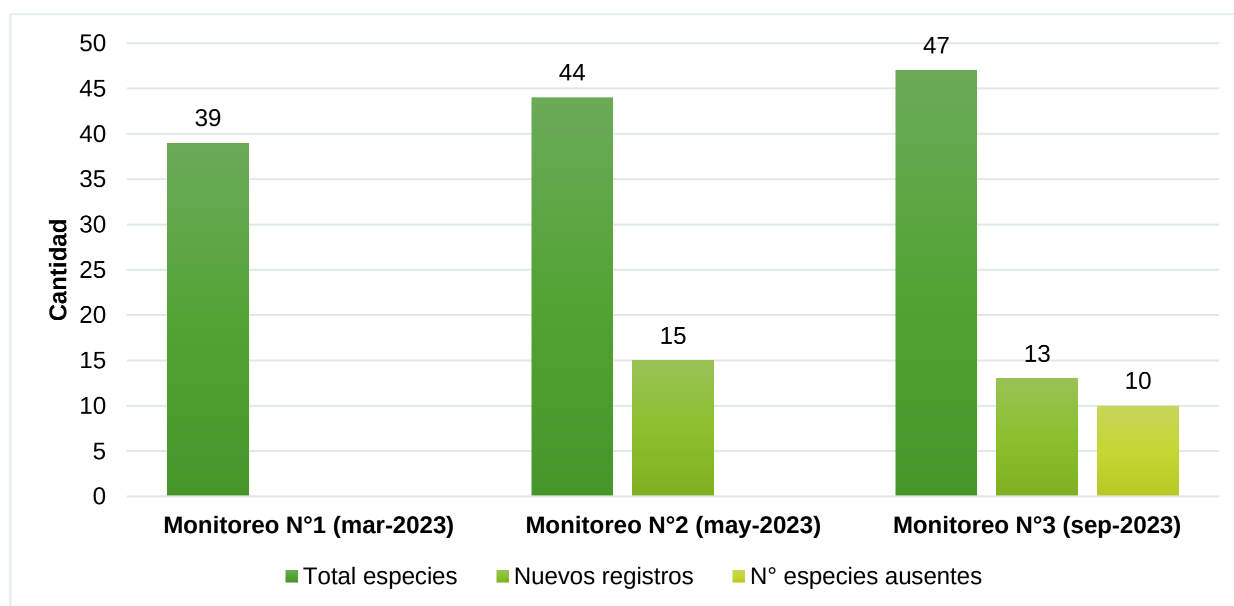


Gráfico 4. Cantidad total de especies e individuos registrados en subcuadrantes de capa orgánica y saprolita (control) por monitoreo realizado.

En cuanto a la forma de crecimiento de las plantas registradas en los subcuadrantes de capa orgánica, las herbáceas (37%) y las arbóreas (24%) presentaron la mayor cantidad de especies.

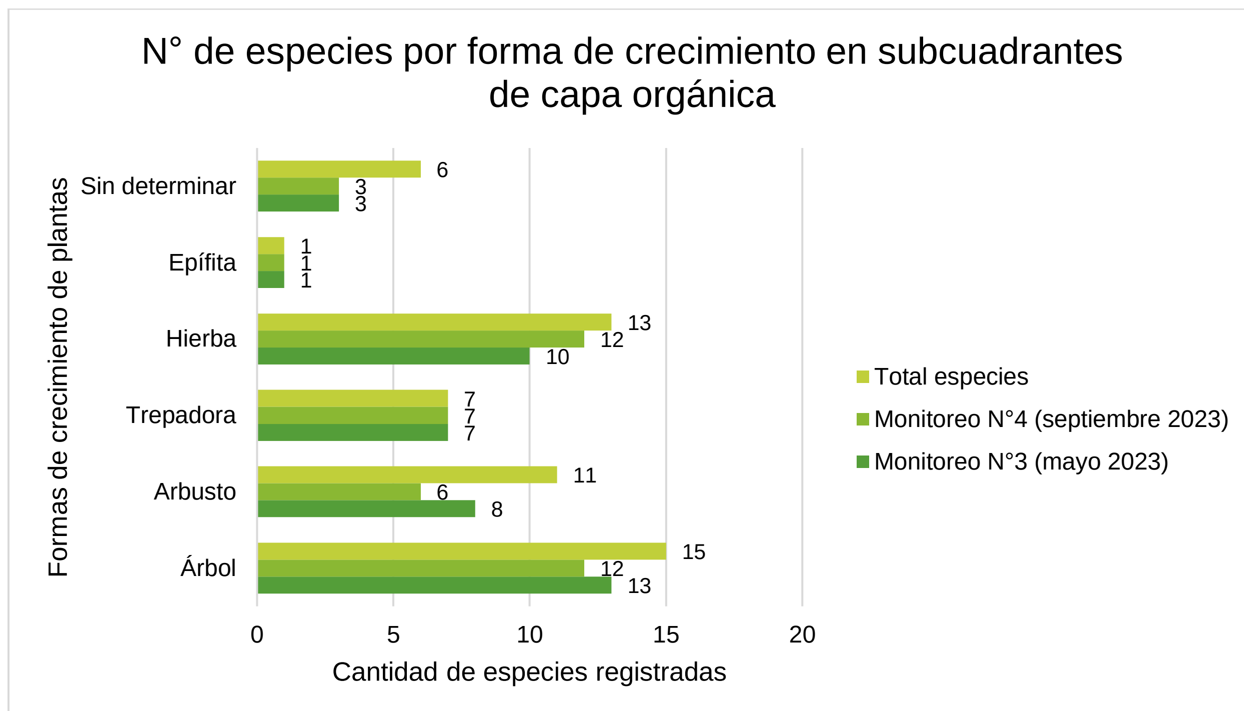


Gráfico 5. Cantidad de especies de plantas por forma de crecimiento registradas en subcuadrantes de capa orgánica.

Al comparar los resultados de los monitoreos realizados, se observa una variabilidad en la cantidad de especies arbustivas y arbóreas registradas en los subcuadrantes de capa orgánica. La cantidad de especies de plantas trepadoras y planta epífita se mantuvo en los monitoreos realizados.

Tabla 3. Cantidad de especies e individuos de plantas registradas por sustrato y por forma de crecimiento en los monitoreos realizados.

Sustrato	**Forma de crecimiento**	***Monitoreo N° 3 (mayo 2023)***		***Monitoreo N° 4 (septiembre 2023)***	
		N° especies	**N° individuos**	**N° especies**	**N° individuos**
Capa orgánica	Árbol	11	38	11	68
	Arbusto	8	9	6	25
	Trepadora	7	54	7	60
	Hierba	9	49	12	220
	Epífita	1	50	1	2
	Sin determinar	3	3	3	3
Saprolita (control)	Hierba	4	259	7	378

Las especie de plantas con mayor cantidad de individuos registrados fueron: *Cecropia insignis*, *Trema micrantha, Emilia sonchifolia, Fimbristilys littoralis, Philodendron* sp*., Salpichlaena volubilis, Pityrogramma calomelanos, Lycopodiella cernua* y *Brachiaria decumbens.*

5. CONCLUSIONES

- Debido a que se han identificado plantas de regeneración natural y presencia de fauna dispersora de semillas, la parcela Pipeline Road Km 4+100 puede recuperarse por sí sola a mediano plazo, si se realiza el mantenimiento periódico de la parcela.
- La colecta de capa orgánica puede ser un método eficaz para propagar diversas especies de árboles, arbustos y lianas del bosque de referencia del proyecto Cobre Panamá.
- La aplicación de fertilizantes es fundamental para lograr el prendimiento de las plantas en las parcelas de restauración.
- En la parcela Pipeline Km 4+100, diversas especies pioneras han presentado resultados óptimos de crecimiento o de supervivencia en parcela de restauración. Se requiere investigar y realizar ensayos para mejorar el desempeño de estas especies con potencial para restauración.

6. BIBLIOGRAFÍA

Almeda, F. Melastomataceae. En: Davidse, G., M. Sousa Sánchez, S. Knapp & F. Chiang Cabrera. 2009. Cucurbitaceae a Polemoniaceae. 4(1): i–xvi, 1–855. Flora Mesoamericana. Missouri Botanical Garden, St. Louis. Disponible en: http://legacy.tropicos.org/Name/42000202?projectid=3&langid=66

Castelli, K. R., Barreto, M. G., Francesconi, W., Valle, L. D., Mondelli, G., Abilio, F. M., & da Silva, A. M. 2015. Analysis of effectiveness of three forest interventionist techniques and proposal of a new and integrated model of forest restoration. *Environmental technology*, *36*(21), 2712-2723.

CTFS. 2020. Trees, Shrubs, and Palms of Panama. http://ctfs.si.edu/webatlas/maintreeatlas.php. Consultado en diciembre, 2020.

Elliott, S. D., D. Blakesley y K. Hardwick. 2013. Restauración de Bosques Tropicales: un manual práctico. Royal Botanic Gardens, Kew; 344 pp.

Gentry, A.H. 1993. A Field Guide to the Families and Genera of Woody Plants of Northwesdt South America (Colombia, Ecuador, Peru): With Supplementary Notes on Herbaceous Taxa. Chicago: The University of Chicago Press; 895 pp.

Hall, J. S., & Ashton, M. S. 2016. *Guide to early growth and survival in plantations of 64 tree species native to Panama and the neotropics*. Smithsonian Tropical Research Institute.

Hammel, B.E.; Grayum, M.H.; Herrera, C. y N. Zamora. 2007. Manual de Plantas de Costa Rica. Volumen V: Dicotiledóneas (Haloragaceae-Phytolaccaceae). St. Louis, Missouri: Botanical Garden Press; 932 pp.

Hammel, B.E.; Grayum, M.H.; Herrera, C. y N. Zamora. 2010. Manual de Plantas de Costa Rica. Volumen V: Dicotiledóneas (Clusiceae-Gunneraceae). St. Louis, Missouri: Botanical Garden Press; 970 pp.

Hernández-Valencia, I., Pérez, M., & Lisena, M. 2011. Calidad del suelo en zonas rehabilitadas de una mina de bauxita. La Restauración Ecológica en Venezuela: Fundamentos y Experiencias. Ediciones IVIC. Caracas, Venezuela, 165-175.

Pennington, T.D. 1997. The Genus Inga Botany. Richomnd, London: Royal Botanic Gardens Kew.

Pérez, R. 2008. Árboles de los Bosques del Canal de Panamá. Panamá: Boski S.A.; 466 pp.

SER. 2004. Principios sobre SER International sobre la restauración ecológica SER (Society for Ecological Restoration International – Sociedad Internacional para la Restauración Ecológica). Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas (Versión 2: octubre de 2004).

Solfiyeni, S., Mukhtar, E., Syamsuardi, S., & Chairul, C. 2022. Distribution of invasive alien plant species, Bellucia pentamera, in forest conservation of oil palm plantation, West Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, *23*(7).

Garwood, N.C. 1999. Seedlings of Barro Colorado Island and the Neotropics. London: Cornell University Press; 645 pp.

Woodson, R.E. y R.W. Schery. 1980. Flora de Panamá. St. Louis, Missouri: Botanical Garden Press; 7396 pp.

7. ANEXOS

7.1. Vivero de plantas nativas

7.1.1. Colecta de semillas y plántulas

Para la recolecta de material genético (plántulas y semillas), que se utilizan en el proceso de restauración ecológica, se realizaron giras de campo donde se extrajeron plántulas, semillas y muestras para la identificación taxonómica de árboles y arbustos de especies de sombra y de especies pioneras dentro del área del proyecto. Las especies fueron identificadas utilizando claves taxonómicas como la Flora de Costa Rica (Hammel et. al, 2007; 2010), Flora de Panamá (Woodson y Schery, 1980), Flora Mesoamericana (http://www.tropicos.org/Project/FM, 2020), y fueron corroboradas con la ayuda de la Base de Datos de Trópicos del Missouri Botanical Garden (http://www.tropicos.org/Project/MPSA, 2020), y del Centro de Ciencias de Bosques tropicales (CTFS, por sus siglas en inglés: http://ctfs.si.edu/webatlas/maintreeatlas.php, 2020), como también guías de campo (Gentry, 1993) y libros de texto (Garwood, 2009; Pérez, 2008), referentes a la flora nativa de Panamá, específicamente, del área de la Vertiente del Caribe.

a) Semillas: se utilizaron varas de colecta para poder alcanzar los frutos de árboles altos. Las mismas fueron separadas y guardadas en bolsas de papel con los datos de registro del árbol.

b) Plántulas: se colectaron dentro del bosque o áreas abiertas y se trasladaron al vivero para su posterior siembra. Esta es una alternativa viable para lograr la reproducción de algunas especies cuyas semillas son difíciles de colectar o germinar.

7.1.2. Producción y Manejo en el Vivero

Desde el inicio del programa de restauración en el año 2014, se han producido en el vivero un total de 153,528 plántulas correspondiente a 112 especies, pertenecientes a 40 familias. Estas plantas fueron colectadas, tanto en semillas o como plántulas, en áreas abiertas (especies pioneras) como boscosas. Las instalaciones del vivero contienen cámaras con plástico de invernadero para aclimatar las plántulas que son traídas del bosque y aquellas provenientes de la germinación de semillas en las camas de arena

El suelo utilizado en el vivero para la siembra de plántulas que se extraen del campo y aquellas provenientes de las camas de germinación, comprende suelo de saprolita mezclado con cascarilla de arroz y tierra negra en una proporción de 2:1:1 (saprolita: cascarilla de arroz: tierra negra), luego es esterilizado con nematicida y fungicida; que se deja en reposo por una semana antes de ser utilizado para la siembra.

La finalidad de las cámaras de invernadero en el vivero es la de mantener la temperatura y humedad óptima, para incrementar el desarrollo y crecimiento radicular de los plantones y para evitar el ataque de plagas. De esta forma se logra mejorar la calidad y resistencia de estas plantas al momento de ser sembradas en las parcelas de restauración. Dichas cámaras de invernadero también aceleran la velocidad de germinación de las semillas en las camas de germinación.

Las plantas fueron propagadas utilizando un sistema de raíz dirigida, basado en tubetes de varias dimensiones, los cuales favorecen el crecimiento de las raíces y aseguran la sobrevivencia de cada una de las plantas. También son utilizadas bolsas de siembra para aquellos plantones que son colectados de mayor tamaño.

Las plántulas provenientes de las camas de germinación, se sembraron en los tubetes que contenían sustrato con compostaje y permanecieron en áreas de sombra dentro del vivero por un tiempo aproximado de tres semanas, luego fueron pasadas al sol de forma paulatina, en donde permanecieron el tiempo requerido que les permitiera completar su aclimatación antes de ir a las parcelas. Las plantas que salgan al campo deben tener entre 25 y 50 cm de altura, con un alto nivel de desarrollo radicular, foliar y del tallo, que les permita resistir las condiciones ambientales existentes en las parcelas.

Las plantas fueron podadas cada cierto tiempo (2-4 semanas), tanto las que permanecen dentro del vivero como la que están expuestas al sol. La poda de las plántulas consiste en remover aquellas hojas secas y con presencia de patógenos (hongos, bacterias y virus), para evitar contaminar el resto de las plantas. Esta operación se realiza a primeras horas de la mañana, a media tarde o en días nublados; con el cuidado de evitarle a la planta un estrés a causa de la luz directa del día. Las plantas son fertilizadas con fertilizante líquido biológico y fertilizante foliar, y fumigadas con insecticida y fungicida mensualmente.

7.2. Registro Fotográfico

Actividades realizadas en parcela Pipeline Road Km 4+100 (código B-PRE-040)



A. Limpieza de parcela.



B. Limpieza de parcela.



C. Resiembra de plantones.



D. Monitoreo de plantones.





E. Imágenes comparativas del proceso de rehabilitación ecológica en la parcela del Km 4+100 del Pipeline Road (Código B-PRE-40).

Ensayos con fertilizantes en la parcela de DARE Sur, Tajo Botija (Código B-PRE-037)



A. Monitoreo de plantas.



B. Toma de datos y registro fotográfico de plantas.



C. Individuo de *Isertia laevis* monitoreado.



D. Individuo de *Bellucia pentamera* monitoreado.

Ensayo con capa orgánica en DARE Sur, Tajo Botija (Código B-PRE-042).



A. Monitoreo de subcuadrante de capa orgánica.



B. Monitoreo de subcuadrante de capa orgánica.



C. Plántula de *Cecropia peltata* registrado en subcuadrante de capa orgánica.



D. Plántula de *Cordia* sp. registrado en subcuadrante de capa orgánica.



E. Individuo de *Trema micrantha* registrado en subcuadrante de capa orgánica.



F. Plántula de *Doliocarpus dentatus* (bejuco candela) registrado en subcuadrante de capa orgánica.

Ensayo de acolchado en DARE Sur, Tajo Botija (Código B-PRE-045)



A. Colocación de cobertores de geomembrana.



B. Limpieza con azadón en puntos de siembra de plantones.



C. Siembra de plantones.



D. Siembra de plantones.



E. Plantón de *Piper aduncum* con acolchado de virutas de madera.



F. Plantón de *Renealmia* sp. con acolchado de virutas de madera.

Actividades de restauración



A. Colecta de plantones.



B. Limpieza de semillas de plantas para restauración.



C. Preparación de camas de semilleros.



D. Siembra de plantones de restauración.